15 GM計数管によるβ線の吸収実験

－GM計数管によるβ線の吸収実験と散乱実験－

β線が物質によって吸収や散乱を受けるとき，物質の厚さによってβ線の計数率がどのように変化するかを測定する。

【使用実験機器】GM計数管，放射線計数装置，β線吸収実験器

§１ はじめに

放射線を物質に照射したとき，放射線が物質に吸収・散乱される割合は物質に固有な量となる。放射線のうち，α線は電離作用が強いため透過力が弱く，物質中ではすぐにエネルギーを失い停止してしまうが，β線やγ線は，α線に比べて透過力が強く物質中を透過しやすい。β線やγ線の透過力に着目し，これらの放射線を物質に照射し，物体の厚さや物質の状態を検知する装置が作られ広く利用されている。

放射線厚さ計は，図１のように，放射線を物質に照射し，物質を透過した放射線を検知し，物体の厚さや物質の種類を検知する装置である。試料と接触することなく測定できる点が優れている。また，図２のような非破壊検査では，工場のパイプなど切断して測定できないものに放射線を照射し，散乱された放射線を検知し，パイプなどの物体の厚さや物質の組成を測定することができる。このように，β線やγ線の吸収や散乱は工業的にも広く利用され，我々の生活物資の製造と深く関わっている。

ここでは，物質によって吸収や散乱を受けたβ線をGM計数管を用いて検知する。まず，β線源から放射するβ線を捕らえて計数率を測定し，その度数分布から放射性崩壊が確率事象であることを確認する（実験Ⅰ）。次に，物体の厚さをいろいろに変えてβ線を照射し，物体の厚さに対するβ線の計数率を測定して，β線の吸収曲線を求める（実験Ⅱ）。最後に，線源の下に置いた散乱体によるβ線の計数率を測定し，飽和後方散乱係数を求める（実験Ⅲ）。

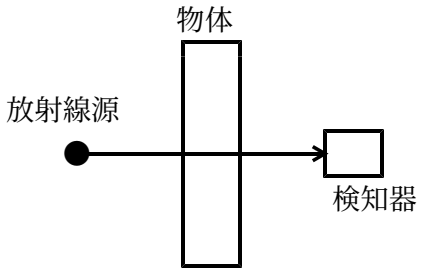

図１ 放射線厚さ計

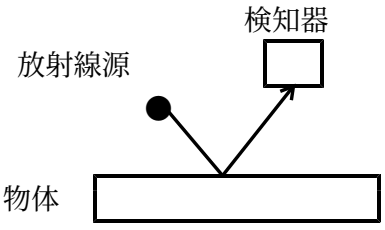

図２　非破壊検査

【備考】計数率：単位時間あたりの計数

１秒間あたりの計数率　cps（count per second）

１分間あたりの計数率　cpm（count per minute）

§２ 実験Ⅰ：GM計数管によるβ線の計数率の測定

１ 解説

(1)原理

放射線を定量的に測定するには，GM計数管が最も適している。GM計数管は，ドイツの物理学者H.ガイガーおよびW.ミュラーによって考案されたもので，ガス放電を利用したものである。金属円筒の陰極とその中心に金属線を陽極として保持し，その間に約１ｋＶ程度の高電圧をかけて，放射線によるガスの放電を利用し，入射粒子の数を計測する。管内にはアルゴンなどの希ガスのほか少量のアルコールなどの有機多原子ガス，イオンを消すためハロゲンガスが混ぜてある。

(2)器具の説明

・放射線計数装置

①GM管電圧調節つまみ
②GM管電圧指示計
③ゲートインジケーター
④ＬＥＤ表示器
⑤外部入力端子
⑥電源スイッチ
⑦GM管パルス外部入力切換スイッチ　… GM側にセット
⑧上位，下位ケタ表示切換スイッチ　… ＮＯＲ側にセット
⑨ゲート時間切換スイッチ　… ＭＩＮ側にセット
⑩計数機能切換スイッチ　… ＣＯＵＮＴ側にセット
⑪スタートボタンスイッチ
⑫ストップ連続計数切換スイッチ　… ＳＴＯＰ側にセット
⑬リセットボタンスイッチ
⑭GM管プローブコネクタ
⑮GM管プローブ
⑯スピーカー
⑰基準信号出力
⑱Ｔ．Ｐ．出力
⑲ストップ入力
⑳スタート入力
21ヒューズホルダ

⑤，⑰，⑱，⑲，⑳，21の各端子は，今回の実験では使用しない。

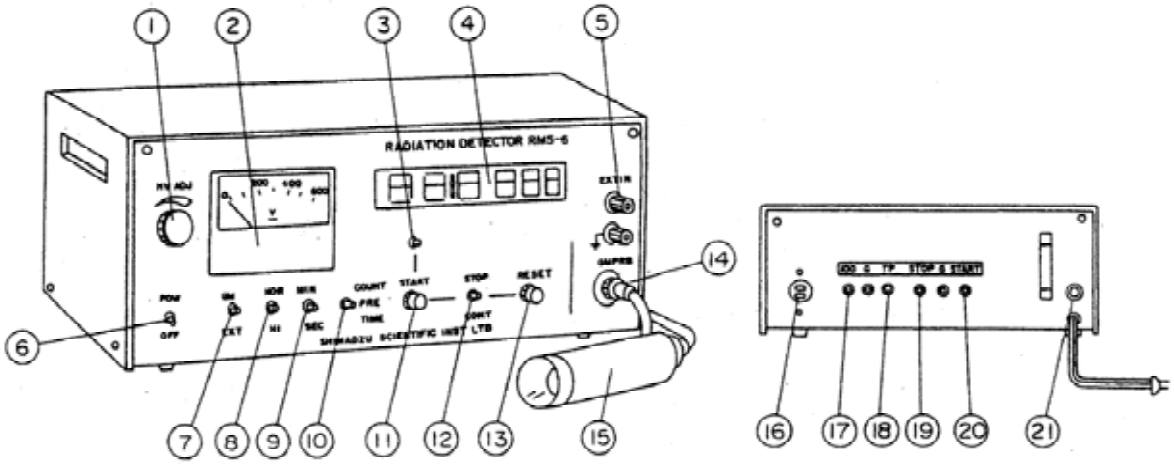

図３　放射線計数装置

・β線の吸収実験器
①GM管スタンド …… GM計数管を差し込む
②試料台　…… 中央穴あき
③載物台　…… 同芯円印付
④試料皿　…… 中央穴あき
⑤吸収板セット …… アルミニウム板　0.1㎜ 3枚
0.2,　0.3,　0.5,　1.0,　2.0,　3.0,　5.0㎜ 各1枚
⑥測定用β線源 …… 吸収用β線源　^{90}Ｓｒ－^{90}Ｙ
後方散乱用β線源　^{204}Ｔｌ

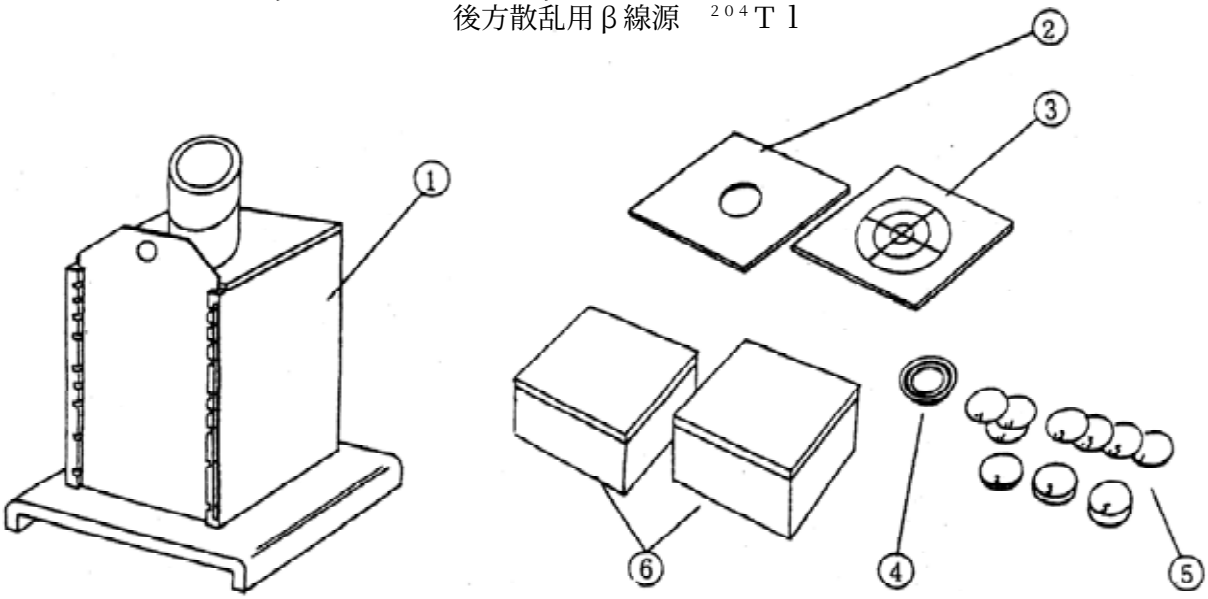

図４　β線吸収実験器

２ 実験

(1)実験装置および器具
・GM計数管，放射線計数装置，β線の吸収実験器
・放射線源（吸収用β線源　^{90}Ｓｒ－^{90}Ｙ）

(2)実験装置の組立

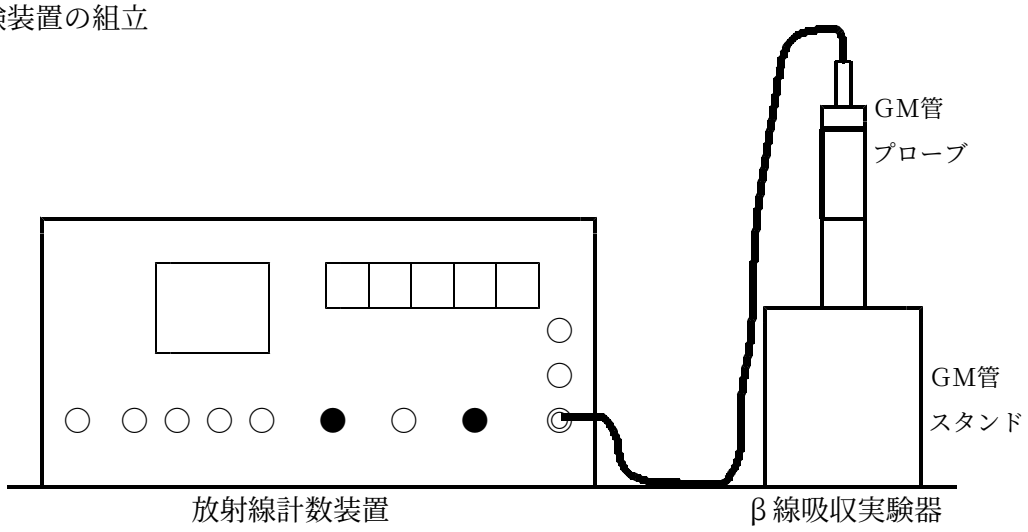

図５　実験装置の組立

(*)GM管スタンドには、GM管プローブから試料台までの距離が表示されている。

【注意】

・GM計数管に一定強度の放射線を照射すると，電圧が 400Vくらいから計数率がほぼ一定の領域（これをプラトー領域という）がある。この領域を越えると，連続放電の状態となり計数管の破損を招く。したがって，GM計数管はプラトー領域で使用しなければならない。

・放射線源として用いるものは微弱線源であり法規制以下のものであるが，できる限り放射線の被爆を少なくするように実験を行うこと。実験中はなるべく手袋を着用し皮膚などが線源に直接触れないようにすること。実験後，放射線源は安全な場所に保管し，放置して周りの人に不必要な被爆を受けさせないようにすること。また，実験中は放射性物質を放置したり，破損したりしないように十分注意すること。

(3)実験の方法

①GM計数管をβ線吸収実験器のGM管スタンド上部に差し込む。

②放射線計数装置の電源を入れ，電圧を 450Vに保つ。

③GM管スタンド(*)の30㎜の位置に試料台を差し込み，その中央の穴に試料皿（中央穴あき）を入れる。(*)GM管プローブからの距離がGM管スタンドに表示されている。

④受け皿に吸収用β線源をアルミ箔が上向きになるように入れ，試料皿の上に置く。

⑤１分間計数率を測定し，これを約100回繰り返す。

３ 実験結果と分析

(1)測定値の処理

①測定値にGM計数管の不感時間（t_D=100[μs])による数え落としの補正を後述の(5)式を用いておこなう。

②補正値の平均値，標準偏差を求める。

③平均値を中心に左右に（標準偏差/２）カウント毎の幅を取り，対応する度数を縦軸にプロットしてグラフをかく。

(2)実験結果

表１　１分間計数率の度数

計数率[cpm]	度数	正規分布
～25289	0	1.2
25290～25359	3	1.6
25360～25429	4	4.3
25430～25499	10	9.1
25500～25569	12	15.0
25570～25639	21	19.3
25640～25709	19	19.3
25710～25779	13	15.0
25780～25849	11	9.1
25850～25919	7	4.2
25920～25989	0	1.7
25990～	0	0.2

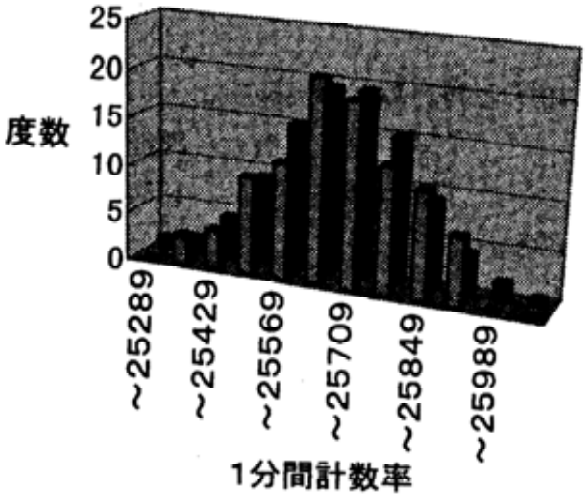

図６　１分間計数率の度数分布

表２　１分間計数率の測定値 および 不感時間による数え落としの補正値

回数	測定値	補正値	回数	測定値	補正値	回数	測定値	補正値	回数	測定値	補正値
1	24747	25814	26	24541	25590	51	24637	25694	76	24603	25657
2	24520	25567	27	24752	25819	52	24723	25788	77	24419	25457
3	24550	25600	28	24585	25638	53	24800	25871	78	24547	25596
4	24653	25712	29	24733	25799	54	24651	25709	79	24580	25632
5	24575	25627	30	24635	25692	55	24382	25417	80	24429	25468
6	24827	25901	31	24666	25726	56	24443	25483	81	24779	25849
7	24620	25676	32	24628	25684	57	24562	25613	82	24667	25727
8	24515	25561	33	24685	25746	58	24561	25612	83	24479	25522
9	24770	25839	34	24742	25808	59	24676	25737	84	24720	25784
10	24549	25598	35	24566	25617	60	24625	25681	85	24536	25584
11	24623	25679	36	24638	25695	61	24416	25454	86	24347	25379
12	24601	25655	37	24739	25805	62	24460	25502	87	24562	25613
13	24470	25513	38	24559	25609	63	24467	25509	88	24406	25443
14	24323	25353	39	24526	25573	64	24575	25627	89	24595	25648
15	24340	25371	40	24516	25563	65	24821	25894	90	24624	25680
16	24535	25583	41	24555	25605	66	24679	25740	91	24426	25465
17	24556	25606	42	24545	25594	67	24773	25842	92	24664	25724
18	24622	25678	43	24511	25557	68	24514	25560	93	24698	25761
19	24765	25833	44	24639	25696	69	24625	25681	94	24406	25443
20	24510	25556	45	24670	25730	70	24601	25655	95	24515	25561
21	24451	25492	46	24495	25540	71	24574	25626	96	24302	25330
22	24677	25738	47	24604	25658	72	24634	25691	97	24597	25651
23	24808	25880	48	24795	25866	73	24837	25912	98	24678	25739
24	24611	25666	49	24541	25590	74	24654	25713	99	24301	25329
25	24410	25447	50	24346	25378	75	24777	25846	100	24393	25429

平均値＝25639cpm　標準偏差＝139. 0cpm

(3)分析

放射線放出は確率事象である。それは，計数率の度数分布が正規分布することを示すことで確かめることができる。表２で得られた実験値から平均値，標準偏差を求める。それらの値を用いて，正規分布しているとしたときの度数を計算し，表１と図６に表す。

図６のグラフから，１分間計数率の実験から得られた度数分布は，正規分布に近い分布をしていることが確認できる。

表２の１分間計数率の実験値について，統計をとると，

平均値　　m ＝ 25639cpm

標準偏差　σ ＝ 139cpm

が得られる。

［備考］正規分布関数φ(x；m，σ)

$$\phi(x;m,\sigma)=\frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma}\exp\{-(x-m)^2/2\sigma^2\}$$

§３ 実験Ⅱ：β線の吸収実験

１ 解説

(1)原理

β線の入射方向に垂直に物質を入れ，その厚さを増していくと，β線の数Nはほぼ指数関数的に減少する。いま，入射前のβ線の粒子数をN_0，物質の質量吸収係数をμ_m［$cm^2 \cdot mg^{-1}$］とすると，単位面積あたりの質量X［$mg \cdot cm^{-2}$］（これを“物体の厚さ”として用いる）の吸収体の物質を通過して出てくるβ線の粒子数Nは

$$N = N_0 \exp(-\mu_m \cdot X) \qquad \cdots (1)$$

として表される。吸収体の厚さを横軸に，GM計数管の計数率を縦軸（対数目盛）にし，吸収曲線をプロットすると，厚さの変化に対し，直線的に減少している部分が見られる。この部分ではβ線の寄与が大きいと考えられる。(1)式より，この直線部分の傾きがμ_mに等しく，グラフから質量吸収係数を求めることができる。

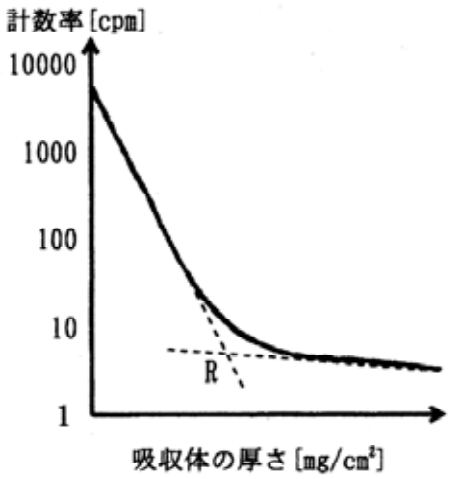

図７　β線吸収曲線

吸収曲線は，この直線部分の終端近くで急激に変曲し，吸収体の厚みに依存せずにほぼ一定の値をとる領域が現れる。これは，β線とともに放出されているγ線や，宇宙から降り注ぐ宇宙線の寄与が大きい部分と考えられる。

そこで，一般には，β線の寄与が大きい部分と，γ線の寄与の大きい部分を直線で近似し，その交点Rをβ線の計数が０になる点として，β線の飛程を求めることが多い。この交点Rを外挿飛程といい，外挿飛程Rがβ線の最大飛程にほぼ対応する。

Rが求まると，次の実験式を用いてβ線の最大エネルギーE_{max}を求めることができる。アルミニウム吸収体を用いた測定から次の実験式が得られている。

$$\begin{aligned} R\ [mg \cdot cm^{-2}] &= 407\ E_{max}^{\ 1.38} \quad ; 0.15MeV < E_{max} < 0.8MeV \\ R\ [mg \cdot cm^{-2}] &= 542\ E_{max} - 133 \quad ; 0.8\ MeV < E_{max} < 3\ MeV \end{aligned} \qquad \cdots (2)$$

【備考】《質量吸収係数μ_m》

β線が物質を通過した透過数Nは，N_0を通過前の粒子数，ｄを物質の厚さ，μを線吸収係数とすると，指数関数を用いて，

$$N = N_0 \exp(-\mu \cdot d) \qquad \cdots (3)$$

と表される。しかしこの式では，線吸収係数が，対象となる試料が同一物質のものであっても，密度によって異なってくる。この不便さを取り除くために，

$$N = N_0 \exp(-\mu_m \cdot \rho d) \quad \text{ただし，} \mu_m = \frac{\mu}{\rho} \qquad \cdots (4)$$

として使うことが多い。μ_m［cm^2/g］を質量吸収係数といい，ρｄ(≡X)［g/cm^2］を物体の厚さとして用いる。

2 実験

(1)実験装置および器具

・GM計数管，放射線計数装置，β線の吸収実験器

・放射線源（吸収用β線源　$^{90}Sr-^{90}Y$）

(2)実験の方法

① 実験Ⅰと同様に，実験装置をセットする。

② GM計数管をβ線吸収実験器のGM管スタンド上部に差し込む。

③ 放射線計数装置の電源を入れ，電圧を450Vに保つ。

④ 吸収体（アルミニウム板）の面積と質量を測り，吸収体の厚さを求める。

⑤ GM管スタンド(*)の30㎜の位置に試料台（中央穴あき）を差し込み，その中央の穴に試料皿（中央穴あき）を入れる。

(*)GM管プローブからの距離がGM管スタンドに表示されている。

⑥ この状態で１分間自然計数を５回測定し，その平均値を求める。

⑦ GM管スタンドの40㎜の位置に載物台を差し込み，その中央に吸収用線源を載せる。

⑧ この状態で１分間計数率を測定し，これを３回繰り返しその平均値を求める。

⑨ 次に試料皿に吸収体 0.1㎜ を入れ同様に測定する。さらに、吸収体の厚さを 0.1㎜〜5㎜ まで変えた場合の計数率を測る。この場合，厚さ1㎜以下は 0.1㎜毎に，1㎜以上は 0.2〜0.3㎜毎に測定する。計数率が500cpm以下になると，測定回数を 5〜10回位に増やすこと。

3 実験結果と分析

(1)測定値の処理

① 実験で求めた１分間計数率の測定値に，次の補正をおこなう。

・GM計数管の不感時間（t_D=100[μs]）による数え落としの補正をおこなう。

・自然計数による増加分を差し引く。

② 吸収板の質量，面積から吸収板の厚さ（[mg/㎠]に変換する）を求める。

③ 横軸に吸収板の厚さ［mg/㎠］を，縦軸に計数率をとってプロットする。

④ このグラフからβ線の質量吸収係数［㎠/mg］を求める。

⑤ また，このグラフからβ線の外挿飛程Ｒを求め，(2)式を用いてβ線の最大エネルギーを推定する。

(2)実験結果

表３　吸収体の厚さ

吸収体の直径＝2．50cm　面積＝4．91cm2

厚さ[mm]	0.1	0.2	0.3	0.5	1	2	3	5
質量[mg]	128	282	395	656	1304	2640	4016	6500
厚さ[mg/cm2]	26	57	80	134	266	538	818	1324

表４　吸収体を入れたときの計数率

厚さ[mm]	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2
1	14692	12225	9945	9034	8158	7387	6689	6194	5593	5081	4330	3412
2	14948	12419	10070	9095	8207	7530	6735	6249	5596	5024	4501	3271
3	14894	12396	10081	9027	8167	7638	6861	6141	5660	4951	4402	3272
平均値	14845	12347	10032	9052	8177	7518	6762	6195	5616	5019	4411	3318
補正値	15203	12588	10184	9172	8271	7594	6820	6240	5650	5042	4424	3317
厚さ[mg/cm2]	0	26	57	80	107	134	160	191	214	240	266	323

厚さ[mm]	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6
1	2499	1977	1398	887	598	426	282	192	110	56	44	40
2	2535	1923	1388	900	618	433	310	193	98	64	52	36
3	2552	1961	1431	906	615	453	299	196	93	65	70	42
4						447	275	185	113	86	49	46
5						453	277	199	115	60	69	41
平均値	2529	1954	1406	898	610	442	289	193	106	66	57	41
補正値	2520	1941	1390	880	591	423	270	174	87	47	38	22
厚さ[mg/cm2]	372	425	480	538	596	644	697	752	818	875	924	978

厚さ[mm]	3.8	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5
1	36	47	32	25	32	24	31
2	47	54	34	23	34	26	26
3	35	46	28	33	22	34	14
4	33	48	29	37	27	28	23
5	40	46	37	28	40	32	18
平均値	38	48	32	29	31	29	22
補正値	19	29	13	10	12	10	3
厚さ[mg/cm2]	1032	1084	1141	1190	1243	1298	1324

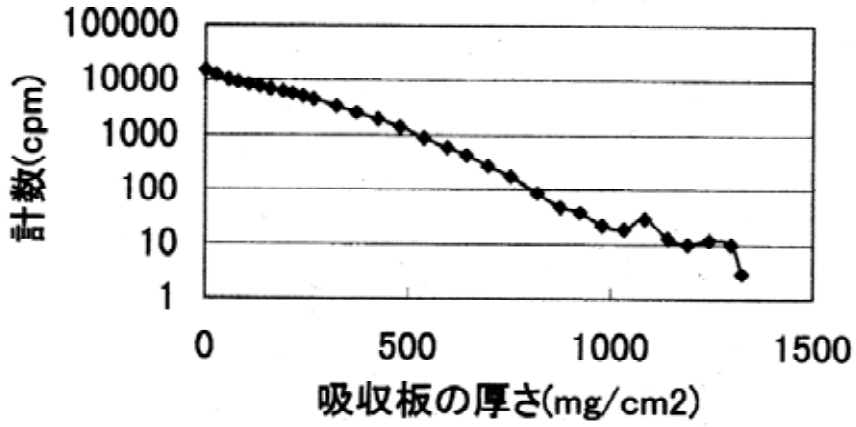

図８　β線の吸収曲線

(3)分析

① β線の吸収曲線のグラフを見ると，吸収板の厚さが増加するにしたがって，計数率が指数関数的に減少していることが確認できる。

② β線の吸収曲線のグラフにおいて，β線の寄与の大きいとみなされる直線部分の傾

きから質量吸収係数［cm^2/mg］を求める。

図８より

$$\mu_m = \frac{\log(N_1/N_2)}{X_2-X_1} = \frac{\log(1390/19)}{1032-480} = 0.0034\ [cm^2/mg]$$

③ 吸収曲線のグラフより，外挿飛程Ｒを求める。Ｒを(2)式に代入し，β線の最大エネルギーを推定する。

図８において，外挿飛程Ｒを求めると，

$$R = 1100\ [mg/cm^2]$$

となり，さらにこの値を実験式(2)に代入してβ線の最大エネルギーを求めると，

$$E_{max} = \frac{R + 133}{542} = 2.3\ [MeV]$$

となる。

④ 測定上の補正を十分行っていないことから，②③で求めた値には多くの誤差が含まれているが，今回用いた線源から放出されるβ線の最大エネルギーが 2.26MeV であるから，大きくずれた値にはなっていないことがわかる。

§４ 実験III：β線の散乱実験

１ 解説

(1)原理

図２のように、β線源の後方に散乱体を置くと，β線源の前方にある検知器の方向にβ線が跳ね返される現象が起こる。これを後方散乱という。後方散乱の程度を調べると散乱体の原子番号を推定することができる。

まず，散乱体を置かずに，線源からのβ線の計数率を測定する。次に，後方に散乱体を置くと，β線が通過できる厚さまでの範囲では，散乱体の厚さが増すにつれて，後方散乱による計数が増加する。ところがある厚さ以上になると，もうそれ以上散乱体の厚さを増やしても計数の増加は起こらなくなる。このような状態のときの計数率と散乱体がないときの比を飽和後方散乱係数という。

$$\text{後方散乱係数} = \frac{\text{散乱体があるときの計数率}}{\text{散乱体がないときの計数率}}$$

下表５は，いくつかの金属を散乱体として用いた実験結果であり、図９はその結果をグラフに表したものである[3]。

表５　散乱体と飽和後方散乱係数

散乱体（原子番号）	飽和後方散乱係数
Ａｌ（13）	1.13
Ｃｕ（29）	1.25
Ａｇ（47）	1.31
Ｐｂ（82）	1.42

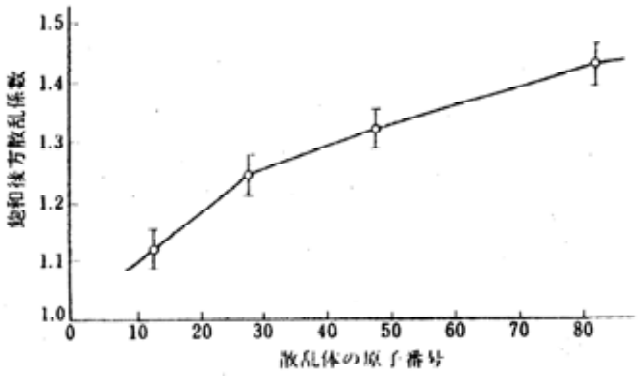

図９　後方散乱係数と原子番号[3]

2 実験

(1)実験装置および器具

・GM計数管，放射線計数装置，β線の吸収実験器

・放射線源（後方散乱用β線源　^{204}Ｔｌ）

(2)実験装置の組立

① 実験Ｉと同様に，実験装置をセットする。

② GM計数管をβ線吸収実験器のGM管スタンド上部に差し込む。

③ 放射線計数装置の電源を入れ，電圧を450Ｖに保つ。

④ 散乱体（アルミニウム板）の面積と質量を測り，吸収体の厚さを求める。

⑤ GM管スタンド(*)の60㎜の位置に試料台を差し込み，その中央の穴に試料皿を入れる。(*)GM管プローブからの距離がGM管スタンドに表示されている。

⑥ この状態で１分間自然計数を５回測定し，その平均値を求める。

⑦ 試料皿に後方散乱用β線源を入れ，１分間の測定を５回繰り返し，その平均値を求める。

⑧ 試料皿の後方散乱用β線源の下に散乱体 0.1㎜ を敷き，同様の測定をする。

⑨ さらに、散乱体の厚さを 0.1㎜～3.0㎜ まで変えて同様に測定する。

⑩ 次に，散乱体を使用せず，同じ線源でGM管スタンドの距離 40，50，60，80㎜における各々の計数率を測定する。

3 実験結果と分析

(1)測定値の処理

① 実験で求めた１分間計数率の測定値に次の補正をおこなう。

・GM計数管の不感時間（t_D=100[μs]）による数え落としの補正をおこなう。

・自然計数による増加分を差し引く。

② GM管と線源との距離と計数率（散乱体を置かないときの計数率）の関係をプロットする（表６、図10）。

③ 散乱体の厚さによる線源の移動を考慮し，各厚さにおける計数率から増加分を差し引き，測定値に補正を行う（表７）。

④ 横軸に散乱体の厚さ（㎎/㎠に変換する）を，縦軸に散乱体のないときの計数率との比率（後方散乱係数）をプロットする（図11）。

(2)実験結果

表６　線源までの距離と計数率の関係

距離	40mm	50mm	60mm	80mm
1	5198	3350	2234	1170
2	5202	3287	2175	1182
3	5199	3331	2151	1106
4	5307	3254	2212	1213
5	5309	3224	2161	1285
平均値	5243	3289	2187	1191
補正値	5270	3288	2175	1174

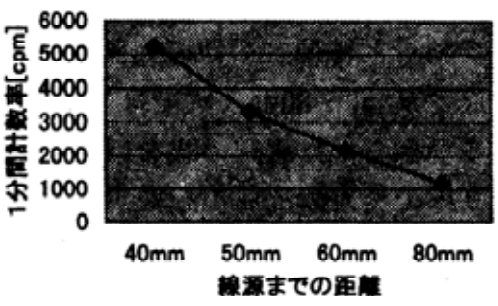

図10　線源までの距離と計数率

表７　散乱体の厚さと計数率の関係

厚さ(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
1	2257	2572	2635	2603	2620	2641	2621	2555	2694	2658	2660
2	2275	2597	2622	2726	2591	2593	2683	2674	2662	2683	2653
3	2265	2533	2628	2686	2674	2688	2611	2672	2575	2646	2698
4	2254	2571	2664	2708	2597	2562	2609	2710	2663	2673	2726
5	2335	2578	2763	2603	2561	2586	2580	2650	2750	2686	2754
平均値	2277	2570	2662	2665	2609	2614	2621	2652	2669	2669	2698
補正値1	2266	2562	2655	2658	2601	2606	2613	2645	2661	2662	2691
距離	60	59.9	59.8	59.7	59.6	59.5	59.4	59.3	59.2	59.1	59
補正値2	2266	2549	2628	2618	2549	2541	2535	2554	2556	2545	2560
比率	1	1.12	1.16	1.16	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.12	1.13
厚さ[mg/cm2]	0	26	57	80	107	134	160	191	214	240	266

厚さ(mm)	1.4	1.8	2.2	2.6	3
1	2763	2756	2632	2815	2828
2	2793	2698	2761	2849	2875
3	2763	2914	2789	2859	2890
4	2671	2725	2831	2812	2884
5	2609	2747	2780	2905	2936
平均値	2720	2768	2759	2848	2883
補正値1	2713	2761	2752	2842	2877
距離	58.6	58.2	57.8	57.4	57
補正値2	2532	2528	2474	2508	2494
比率	1.12	1.12	1.09	1.11	1.1
厚さ[mg/cm2]	372	480	596	697	818

補正値１：①による補正
補正値２：③による補正
比率：厚さ０のときとの比
（後方散乱計数）

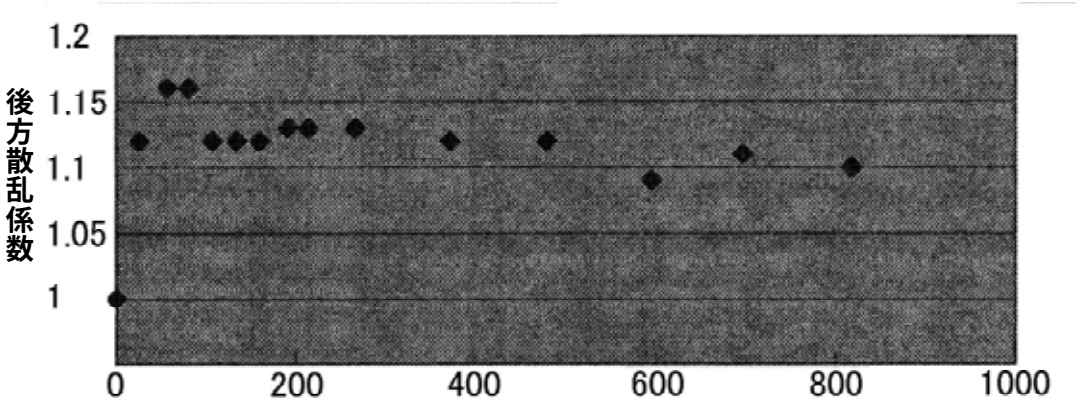

図11　β線の後方散乱曲線

(3)分析

・GM管と線源との距離と計数率の関係をプロットしたグラフ（図10）から，物質の厚さが 50～80mg/cm² では，距離と計数率はほぼ直線と見なすことができたので，グラフから得た直線の式を用いて，散乱体の厚さによる補正を行った。

・β線の後方散乱曲線を表すグラフから，アルミニウム板の飽和後方散乱係数が，1.1程度になることがわかる。

【参考１】《放射線源》

この実験で用いる放射線源は，^{90}Ｓｒ－^{90}Ｙと^{204}Ｔｌで，^{90}Ｓｒ－^{90}Ｙは２週間以上放置すると，両者は永続平衡となる。^{90}Ｓｒのβ線のエネルギーは比較的低く，最大エネルギーは 0.54MeV，^{90}Ｙのβ線のエネルギーは非常に高く最大エネルギーは2.27MeVである。β線源としては，主として 2.27MeV のβ線が利用される。

一方，^{204}Ｔｌは，β崩壊（97%）して ^{204}Ｐｂとなる。β線のエネルギーは，0.763 MeVである。

【参考２】《GM計数管による計数》

１　GM計数管

ガイガー計数管は，電圧が低すぎると計数が行われないし，電圧が高すぎると連続放電をはじめるので，その中間くらいの電圧を用いる。ガイガー管の陰極と陽極の電位差を徐々に大きくしていくと約400Ｖぐらいで放射線に感じるようになり，さらに電圧を上げると，計数値はほぼ一定となり，入射する放射線の数に対応するようになる。これは管内に入射した１個の粒子（放射線）によって混合ガスの分子がイオン化され，正イオンと電子をつくる。このとき，粒子は数10ｅＶのエネルギーを失う。このような衝突を繰り返しながら，徐々にエネルギーを失い，やがて停止する。電離によって放出された電子は電界によって加速され，周囲の中性分子に衝突し，次々と電離を繰り返し新たな電子を放出し，その数は急激に増加する。これを電子なだれといい，管内の一部に生じた電子なだれは管全体に広がり，１つの大きな電流パルスをつくる。これを電圧パルスに変換し，電子回路で増幅し計測する。

一方，電離によって生じた希ガスイオンは陰極に向かって移動するが，途中，ハロゲン分子と衝突し，電荷をハロゲン分子に移して中性に戻る。その結果，ハロゲン分子が陰極に到達し，中和される。

２　自然計数

線源を置かない状態でも，GM計数管は宇宙線などのわずかな放射線にも応答する。これを自然計数という。放射線測定では，放射線源以外からの放射線も計測されるので，線源からの放射線による計測値を得るには，実際の計測値からこの自然計数を引いてやらねばならない。自然計数はバックグラウンドともいい，弱い放射線を計測するときには特にこのバックグラウンドが測定の妨げとなる。

３　GM計数管の不感時間による数え落とし

GM計数管では一つの放射線が入射した直後に電子なだれが管全体に広がり，放電経路に沿ってさや状の正イオンの集団ができる。このような状態の時に，第２の放射線が入射しても計数管は作動しない。正イオンのさやが陽極から遠ざかるまで，計数管は不感応状態になる。この間を不感時間t_Dといい，この間に飛び込んだ粒子は数え落とされる。さらに，電界が徐々に回復して粒子が計数管で検出されるようになるまでに時間を要する。第１の放射線が入射してから電界が回復して第２の放射線が検

出されるようになるまでに要する時間を分解時間t_sという。分解時間は，二線源法（[6]，[7]を参照）などで実験により求めることができる。

この分解時間による計数率の数え落としは，次のように補正する。いま，分解時間をt_s，単位時間中に実際に計数管に入った放射線の数をNとすると，数え落とされた数は，$N-n=Nnt_s$と表され，次式が成り立つ。

$$N = \frac{n}{1-nt_s} \qquad \cdots (5)$$

分解時間は不感時間とほぼ等しいので，今回の実験では，分解時間を不感時間と読み替えて処理した。

4 計数の統計

線源からの放射線の放出はランダムな現象であり，計測値は常に統計的な変動を含んでいる。同じ測定を繰り返しても計測値は一定値を示さず，ある値を中心としてばらつく。T秒間毎の計測値が平均Nであったとすると，その標準偏差σは，

$$\sigma = N^{1/2} \qquad \cdots (6)$$

で与えられ，計数値には$N^{1/2}$の誤差含まれると考えられる。

相対誤差$N^{1/2}/N$が１％以内であるためには，少なくとも１回の計測時間で10000カウント以上計測しなければならない[6]。

【参考文献】

[1]「β線の吸収実験器」取扱説明書（島津理化器械（株））
[2]「放射線計数装置」取扱説明書（島津理化器械（株））
[3] 飯田博美・安齋育郎共編「放射線のやさしい知識」(1984，オーム社)
[4] 柴田徳思著「放射射線をはかる」(1992，日本規格協会)
[5] 近藤民夫著「わかる放射線」(1992，共立出版)
[6] 大島久編「物理実験応用コース」(1993，内田老鶴圃)
[7] 比企能夫ほか著「物理実験コース」(1991，朝倉書店)
[8] 物理学辞典（1984，培風館）